



**UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA
COMPUTACIÓN E INFORMÁTICA**

CI2657- ROBÓTICA
Prof. PhD. Kryscia Daviana Ramírez Benavides

Tarea #4

Elaborado por:

Ricardo Aguilar Vargas B10141

ricardoaguilar0@gmail.com

Gabriel Bermúdez Mora B10954

gbermudezmora@gmail.com

Kevin Delgado Sandí B22214

kefdelgado@gmail.com

Andrey Pérez Pérez B25076

robinperez38@gmail.com

17 de septiembre del 2016

Tabla de contenidos

[Tema](#)

[Objetivos](#)

[Enunciado](#)

[Desarrollo](#)

[Sección 2.1: Conceptos básicos de geometría espacial](#)

[Dinámica del manipulador](#)

[Generación de trayectorias](#)

[Sensorización](#)

[Referencias](#)

Tarea #3

1. Tema

Mecánica de Robots y Sensorización

2. Objetivos

Comprender los conceptos generales del área de Robótica, sobre sensores, actuadores y el control de robots.

3. Enunciado

Se debe leer los siguientes capítulos y hacer lo siguiente:

1. El segundo capítulo del libro (solamente las secciones 2.1, 2.4 y 2.5) llamado “Apuntes de Robótica”, de Juan Domingo Esteve, que se encuentra en el sitio. Resuma el contenido del capítulo, poniendo las ideas principales entendidas de la lectura realizada. Debe realizar un mapa conceptual de este capítulo. (Grupo 2)
2. El tercer capítulo del libro llamado “Apuntes de Robótica”, de Juan Domingo Esteve, que se encuentra en el sitio. Resuma el contenido del capítulo, poniendo las ideas principales entendidas de la lectura realizada. Debe realizar un mapa conceptual de este capítulo. (Grupo 2)

4. Desarrollo

Sección 2.1: Conceptos básicos de geometría espacial

El autor de los apuntes se va a referir con 'sistema' al conjunto de coordenadas tridimensional XYZ que definen el espacio del 'mundo real', es decir un sistema rectilíneo de tres componentes cuya longitud es la misma y el tercer eje es producto vectorial de los otros dos.

Las traslaciones se pueden definir como la suma de dos vectores x , y o como el producto cartesiano de de una matriz por su matriz homogénea. Con la última matriz se puede sacar también la función inversa de la traslación, lo que empíricamente significa poder invertir la dirección del movimiento. Algunas propiedades de las traslaciones se pueden utilizar en las rotaciones también, sin embargo su unidad de medida son los ángulos de Euler o el sistema *yaw/pitch/roll* (desviación/elevación/giro, o, en términos aeronáuticos, deriva/cabeceo/balanceo).

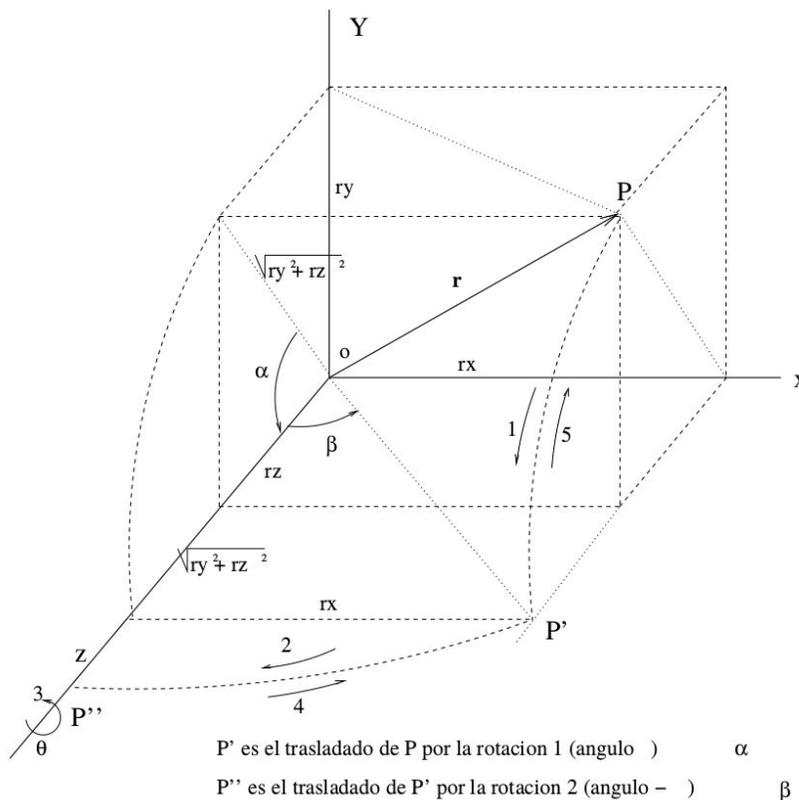


Figura 1: Rotación alrededor de un eje arbitrario

Cada movimiento se puede definir como una transformación de traslaciones y rotaciones a una matriz. Si existen varios movimientos, estos se ven como una sucesión de transformaciones o multiplicaciones de matrices.

El sistema que va a tener la mano es el siguiente:

$$T = \begin{pmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \equiv \begin{pmatrix} \vec{n} & \vec{o} & \vec{a} & \vec{p} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Esto se hace porque la idea final es realizar una cadena de transformaciones entre sistemas de coordenadas que relacione las coordenadas de los objetos medidas respecto a un último sistema solidario al punto terminal (la pinza) del brazo con las coordenadas respecto a un sistema fijo. El último sistema se pondrá de tal modo que su origen coincida con el punto terminal.

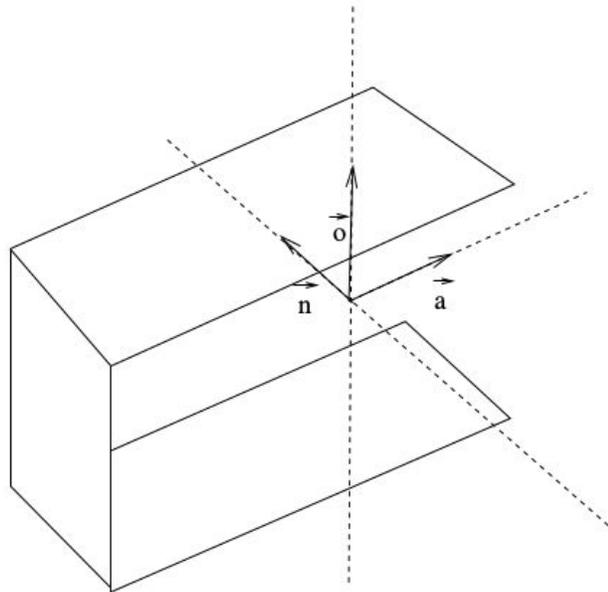


Figura 2: Sistema de la pinza

1. Dinámica del manipulador

Aquí es donde se establece la relación entre las velocidades del movimiento de las articulaciones y la velocidad a la que lo hace el punto terminal del brazo. De aquí es donde se obtienen dos terminos **camino** (Una sucesión de puntos en el espacio) y **trayectoria** (Un camino con restricciones temporales).

Una de las estrategias más utilizadas para construir caminos es la interpolación en el espacio, pero pese a ser muy común trae problemas consigo, ya que no se sabe cuál será el camino en el espacio cartesiano real y por lo tanto no se pueden prevenir inconvenientes como golpes. Otro problema es que se desconoce en principio la aceleración cartesiana, esto puede provocar grandes fuerzas de inercia.

Se considera de mucha importancia el conocer la relación entre trayectoria cartesiana y de articulaciones para movimiento finos a partir de cierta posición, esta relación es igual a la que se da entre velocidades cartesianas y de articulaciones en todo momento, se puede considerar que son lineales y todo esto se obtiene de la matriz Jacobiana.

2. Generación de trayectorias

a. Trayectorias en el espacio de articulaciones

Para poder hacer la trayectoria correctamente, es decir desplazarse de un punto a otro se debe de conocer la posición, velocidad y aceleración del brazo en función de tiempo, también cómo lo que se quiere es dar la trayectoria, el robot debe de conocer solamente tanto los valores iniciales como los finales y este debe de saber interpolar para poder hallar los valores intermedios. Normalmente la trayectoria se especifica refiriéndose al sistema de coordenadas de la base, por otro lado es usual dar algunos puntos intermedios para así evitar errores como colisiones.

Es importante mencionar que la función que describe la trayectoria normalmente va de \mathbb{R} en \mathbb{R}^6 o de \mathbb{R} en \mathbb{R}^n , ya que en cada lapso de tiempo, lo no es discreto sino continuo, se le asigna un vector de valores representando la posición y orientación, tanto en el espacio cartesiano como en el de articulación. Se trata de que esta función sea sencilla, continua y con derivada continua.

Algunas formas de elegir la función son las siguientes.

- Se especifica la trayectoria en el espacio de articulaciones para cada una de ellas por separado.

- Ya que la función debe cumplir con varias restricciones, como ser continua y derivable, entre otras, la elección más sencilla es un polinomio de al menos tercer grado, ya que los de grado inferior no podrán cumplir con alguna restricción en su totalidad.

Una vez especificada la trayectoria es importante establecer la velocidad de la articulación en los puntos intermedios, para esto hay tres formas, primero especificar en cada punto intermedio la velocidad cartesiana del punto terminal y convertirla en velocidad cartesiana, otra opción sería dejar que el sistema elija la velocidad en cada punto intermedio utilizando algún tipo de regla heurística y por último hacer que la velocidad de los puntos intermedios sea continua.

Con este método se tiene un buen movimiento de la articulación, pero no precisamente pasará por todos los puntos intermedios que se determinaron, para hacer que la articulación pase por todos estos puntos, se debe poner un punto antes y otro después de cada punto intermedio, de tal manera que los 3 puntos sean colineales.

b. Trayectorias en el espacio cartesiano

Lo que se busca con este método es que la parte terminal de la articulación tenga un movimiento recto o algún tipo de curva, estos dados en coordenadas cartesianas. Para calcular que la trayectoria pase por los puntos indicados, se debe usar los métodos de interpolación, teniendo presente que los puntos de la trayectoria son continuos por lo tanto no se debe calcular para todos los puntos, puesto que estos son infinitos. Como no se calcula para todos los puntos en la práctica puede que el movimiento no sea exactamente el esperado, pero si se calcula para puntos relativamente cercanos, se obtendrá un movimiento casi perfecto.

Este método tiene varios problemas, el más común es que algunos puntos de la trayectoria se encuentre fuera del espacio, para lo cual el robot debe de calcular esto antes de iniciar el movimiento y mencionar el problema al usuario.

3. Sensorización

a. Necesidad e importancia. Tipos

La realización exitosa de las tareas de un robot depende de la pronta información que tenga de su propio estado y de la situación del entorno. En particular información de las articulaciones como velocidad,

posición y aceleración. A los sensores que den estos datos, se les llama sensores **internos**.

Por otro lado también es importante conocer el estado del mundo que rodea al robot, como distancias a objetos, fuerza ejercida sobre un objeto o hacia el robot. Esta información es dada por lo que se conocen como sensores **externos**, como microinterruptores o cámaras.

A continuación se muestran algunos de las clases de sensores:

01. Sensores Internos

i. De posición

1. Eléctricos

- a. Potenciómetros
- b. Síncros y resolvers
- c. El Inductosyn

2. Ópticos

- a. Optointerruptores
- b. Codificadores absolutos e incrementales

ii. Sensores de velocidad

- 1. Eléctricos: Dinamos tacométricas
- 2. Ópticos: medición de la velocidad con un encoder

iii. Acelerómetros

02. Sensores externos

i. De proximidad

- 1. De contacto: microinterruptores
- 2. Sin contacto físico
 - a. De reflexión lumínica
 - b. De fibra óptica
 - c. Scanners laser
 - d. De ultrasonidos
 - e. De corriente inducida
 - f. Resistivos
 - g. De efecto Hall

ii. De tacto

- 1. De varillas
- 2. De fotodetectores
- 3. De elastómeros de conductividad
- 4. De presión neumática

5. De polímeros
6. De transferencia
- iii. De fuerza
 1. Por corriente en el motor
 2. Por deflexión de los dedos
- iv. De visión
 1. Cámaras de tubo
 2. Cámaras lineales CCD
 3. Cámaras usuales CCD

b. Sensores Internos

i. Sensores de posición

Estos sensores son los que le dicen al robot en qué posición o en qué punto de su recorrido permitido se encuentra una articulación. Existen dos tipos: **eléctricos** y **ópticos**. Entre los primeros se destacan:

Potenciómetros: consiste en un contacto que se mueve sobre un hilo de material resistivo arrollado en un espiral. La resistencia es proporcional a la cantidad de hilo desde el inicio hasta la posición del contacto móvil.

Sincros y resolvers: estos son sensores de posición exclusivamente angulares, que no requieren contacto físico entre las piezas, por lo que se deterioran menos.

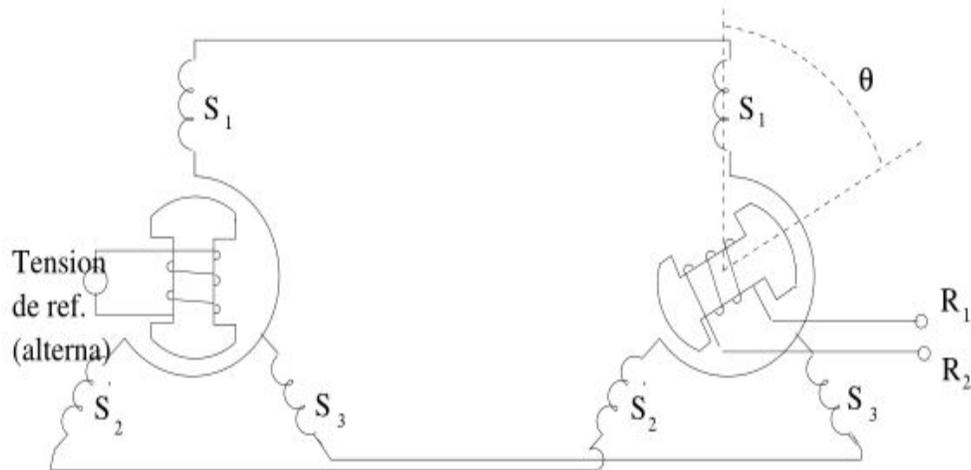


Figura 3: Esquema del sincro

El Inductosyn: En su variante lineal, este sensor está formado por dos reglas que se desplazan una sobre otra, con circuitos (pistas) dibujados sobre cada una en forma de líneas almenadas. La señal es similar a la de los syncros y resolvers, pero mucho más exacta, porque resulta de un promedio sobre muchas espiras (almenas).

Los siguientes son los del tipo óptico. Estos son los más importantes por ser los más usados.

Optointerruptores: Son interruptores de final de carrera. No usan contactos mecánicos, sino un fotodiodo y un LED que emite frente a él.

Hay una versión tanto lineal como rotacional. En éste último caso tiene el problema de que no se conoce el sentido en que giraba el motor antes de llegar al punto de interrupción.

Codificadores ópticos: se construyen como los microinterruptores, pero con numerosas muescas apropiadamente distribuidas. Hay dos tipos fundamentales:

Absolutos: el disco que gira está impreso de tal forma que resulta opaco en ciertas áreas, y éstas están dispuestas como sectores, de modo que para cada sector radial la alternancia de zonas claras y

oscuras corresponda a un código binario asignado de modo único al sector.

Incrementales: similar al anterior en su construcción, pero éste solo cuenta con una pista que contiene muescas y dos pares de LED-fotodiodo, colocados con una separación angular tal que las ondas cuadradas que cada uno genera cuando el eje se mueve estén desfasadas un cuarto de periodo.

Oscilación: cuando se levanta una carga a una cierta altura, el motor recibe corriente hasta que el codificador marque la posición deseada; pero al estar en ella, el sistema de control no debe mover más el motor y por tanto no le envía corriente, con lo cual, por el propio peso de la carga, la articulación cae hasta la posición inferior del encoder, lo cual da señal de error de 1 pulso, que activa el motor de nuevo y así sucesivamente.

ii. Sensores de velocidad

Estos sensores miden la velocidad (normalmente, angular, puesto que suelen ser rotacionales) a la que gira la articulación a que se conectan. Existen dos tipos: eléctricos y ópticos.

Eléctricos: solo veremos un caso: el tacómetro o dinamo tacométrica, que es un dispositivo similar a un motor, que genera una tensión alterna de amplitud proporcional a la velocidad angular de giro. Se diseña de tal modo que esta amplitud sea lo más lineal posible con la velocidad angular en el rango de uso.

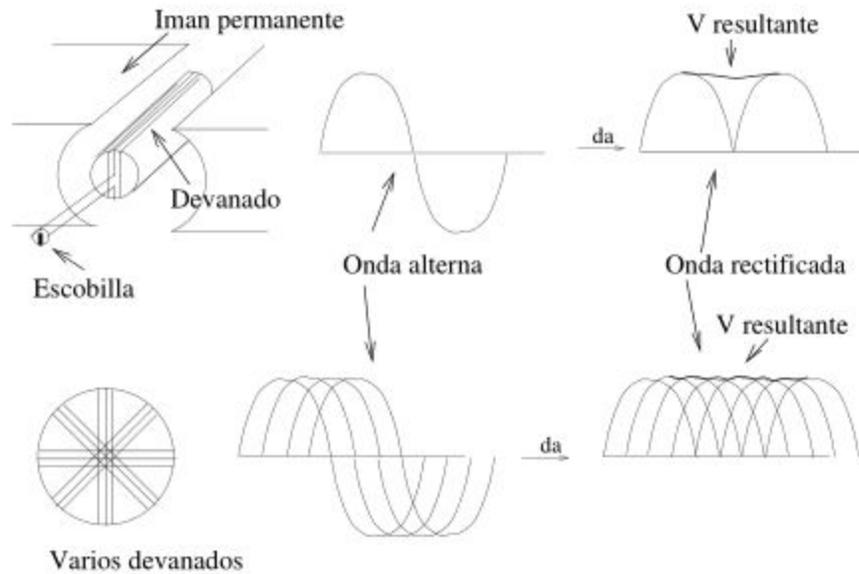


Figura 4: esquema de la dinamo tacométrica

Ópticos: tratan de usar los codificadores ópticos antes explicados para medir la velocidad, realizando una aproximación discreta, pues como se vio, estos sensores generaban señales digitales. Hay dos formas de obtener el valor de la velocidad:

- La conversión frecuencia-voltaje: consiste en usar circuitos que realizan una aproximación discreta a la derivada en la forma

$$v = \frac{dx}{dt} \simeq \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

Siendo Δx el número de pulsos contados en el tiempo Δt . Constan de un contador, un reloj interno y normalmente un conversor D/A que convierte el número de cuentas a voltaje.

- El otro método es efectuar la aproximación por software mediante un programa que implementase un algoritmo similar al siguiente:

$$v(k) \leftarrow (\text{posición_presente} - \text{posición_anterior})/T$$

$$\text{posición_anterior} \leftarrow \text{posición_presente}$$

(ejecución del algoritmo de control)

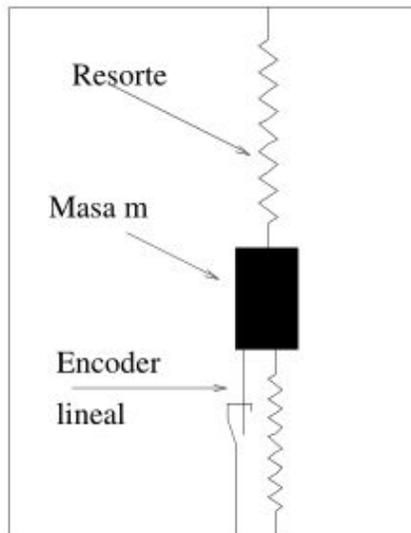
$k \leftarrow k + 1$

espera($T - \delta t$)

hasta (desconexión del dispositivo)

iii. Acelerómetros

Miden la aceleración del dispositivo al que van físicamente unidos, y se basan en la ley de Newton. Al mover el cuerpo con cierta aceleración a aparece sobre él una fuerza de inercia, $F = ma$, que puede ser medida con un resorte, usando la ley de Hooke, $F = kx$, siendo x el alargamiento del resorte y k su constante elástica. Para medir el alargamiento se puede a su vez usar un encoder lineal.



$$F = m a = k x \quad \longrightarrow \quad a = \frac{k x}{m}$$

x es leída por el encoder

k es la cte. del sistema equivalente de los dos resortes

Figura 5: esquema de un acelerómetro inercial

Este tipo de sensores se usan poco; generalmente, suelen ser para monitorizar problemas debidos a la falta de rigidez de los brazos. Deben tener cierto amortiguamiento para llegar pronto a la posición de equilibrio y no oscilar.

3.3. Sensores externos

Estos sensores dan información acerca del entorno del robot. Su objetivo es monitorizar dinámicamente el robot y su entorno, y deben de alterar lo menos posible dicho entorno.

3.3.1. Sensores de proximidad

Señalan la distancia entre el robot y un punto. Pueden ser de contacto, o sin contacto físico.

De contacto. Son microinterruptores colocados en algún lugar en el que pueda chocar. Se llaman de fin de carrera cuando se utiliza para detectar una posición determinada o un límite. Otro tipo son codificadores lineales que se deslizan sobre la superficie del objeto. Es útil para conocer el perfil del objeto.

Sin contacto. Hay tres tipos

- De reflexión luminosa. Constan de una fuente de luz y dos lentes: una para localizar la luz sobre el objeto y otra para concentrar la luz reflejada. Esta luz se mide por una fotoresistencia. Esta intensidad se relaciona con la distancia, pero la fotoresistencia también juega un papel en la medida. Tiene tres problemas principales: puede haber ambigüedad en la distancia del objeto con respecto a la intensidad de la luz, es sensible a las variaciones de la luz del ambiente y la temperatura
- De fibra óptica. Cuando la luz incide en la superficie de la fibra óptica, dependiendo del ángulo se puede reflejar o refractar. Esto sirve para calcular la distancia a la que se encuentra el objeto, sin embargo, tiene los mismos problemas que el anterior. Por ésto, es usado principalmente para detectar la presencia de un objeto que para medir distancias.
- Sensores láser. Es basado en dos espejos perpendiculares controlados por motores eléctricos, de manera que pueden deflectar un láser a cualquier punto. Además, se utiliza otro dispositivo, llamado colimador, que se encuentra apuntando a una dirección conocida. Se calcula, entonces, el tiempo que el láser ha tardado en llegar hasta dicho colimador.

De ultrasonido. Son de los más usados de distancia sin contacto físico. Emiten una señal pulsos de ultrasonidos, usualmente a 40kHz, y se calcula la distancia conociendo la velocidad del sonido y midiendo el tiempo que tardó desde la emisión a la recepción del mismo impulso. El receptor tiene un filtro pasa-banda sintonizado a los 40kHz. Normalmente se utilizan varios apuntando a diferentes direcciones. Tienen una precisión de unos 0,5cm en 2m (en condiciones óptimas).

De corriente inducida. Basados en una bobina que genera un campo magnético variable. Cuando se acerca a un material ferromagnético se generan corrientes parásitas, que generan otro campo y así se cancelan entre ellas, variando la intensidad que circula por el solenoide. Depende de muchas variables, por lo que es bueno calibrarlo para un uso en específico. Son robustos y apropiados para ambientes hostiles.

Sensores resisitivos. Usados en soldadura por arco voltaico, donde se mantienen constante la altura del material (dos planchas metálicas) que está siendo unido. La intensidad que circula es proporcional a la distancia entre el electrodo en la punta del brazo y la superficie. Dicha intensidad está entre 100 y 200 amperios.

3.3.2. Sensores de tacto

De varillas. Matriz de varillas que descienden hasta hacer contacto con el objeto. Pueden ser de tipo ON/OFF o para medir la longitud de la varilla dentro de la bobina.

De fotodetectores. Mismo principio que los de varillas, pero las varillas cortan el rayo de luz que va de un LED a un fotodiodo. Las varillas tienen una capa elástica que se desgasta y hay que reemplazarla con el tiempo.

De presión neumática. Se basan en contactos distribuidos y una lámina metálica sobre ellos que no los toca. Entre ellos hay aire comprimido. Al presionarlo, se vence la presión del aire y se toca el contacto. Son binarios, sin embargo, variando la presión del aire se puede medir la fuerza.

De polímeros. Basados en materiales como el cuarzo o algunos polímeros sintéticos que al presionarlos mecánicamente generan una pequeña corriente eléctrica (piezoelectricidad). Pueden ser binarios o analógicos.

3.3.3. Sensores de fuerza

Son necesarios para poder medir la fuerza que ejercen los motores de la pinza de un brazo robótico cuando se necesita cierta sensibilidad.

Por variación de la corriente del motor. El torque ejercido por un servomotor es proporcional a la corriente de armadura. Al medir dicha corriente, se puede conocer el momento ejercido por el motor. Para la conversión de esto en fuerza se depende del dispositivo utilizado. Sin embargo, no se mide la fuerza como tal, si no la magnitud relacionada, de manera que debe de estar bien calibrada para que dicha relación se mantenga constante.

Por deflexión de los dedos. Se basan en la variación de resistencia eléctrica de cualquier material en función de su longitud y sección. De manera que al hacer presión sobre un material, se puede medir la fuerza a partir de la flexión que sufra.

3.3.4. Sensores de visión.

Envían una imagen del área de trabajo y el software se debe de encargar de interpretarla de manera que se pueda reconocer los objetos con los que se trabaja e interactuar con ellos de manera adecuada.

5. Referencias

1. Juan domingo. (2001). *Apuntes de Robótica*. (1st ed.)